

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

ANÁLISES QUÍMICAS POR IMAGENS DIGITAIS UTILIZANDO
SMARTPHONES: UMA ABORDAGEM PARA SIMPLIFICAÇÃO E REDUÇÃO DE
CUSTOS DE MÉTODOS ANALÍTICOS TRADICIONAIS EMPREGADOS NA
ANÁLISE DE AMOSTRAS DE CACHAÇA

TESE DE DOUTORADO

Doutoranda: Fernanda Carla Böck
Orientador: Prof. Dr. Marco Flôres Ferrão
Co-Orientadora: Prof. Dr^a. Morgana BazzanDessuy

Porto Alegre, agosto de 2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

FERNANDA CARLA BÖCK

ANÁLISES QUÍMICAS POR IMAGENS DIGITAIS UTILIZANDO
SMARTPHONES: UMA ABORDAGEM PARA SIMPLIFICAÇÃO E REDUÇÃO DE
CUSTOS DE MÉTODOS ANALÍTICOS TRADICIONAIS EMPREGADOS NA
ANÁLISE DE AMOSTRAS DE CACHAÇA

Tese apresentada como requisito parcial
Para obtenção do grau de Doutor em Química

Prof. Dr. Marco Flôres Ferrão
Orientador

Prof. Dr^a. Morgana BazzanDessuy
Co-orientadora

Porto Alegre, agosto de 2021

A presente tese foi realizada inteiramente pelo autor, exceto as colaborações as quais serão devidamente citadas nos agradecimentos, no período entre novembro de 2016 e agosto de 2021, no Instituto de Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul sob Orientação do Professor Doutor Marco Flôres Ferrão e Co-orientação da Professora Doutora Morgana BazzanDessuy. A tese foi julgada adequada para a obtenção do título de Doutor em Química pela seguinte banca examinadora:

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Paulo Henrique Março

Prof. Dr. José Licarion Pinto
Segundo Neto

Prof. Dr. Adriano de Araújo
Gomes

Prof. Dr. Carla Sirtori

Prof. Dr. Marco Flôres Ferrão
(Orientador)

Prof.^a Dra. Morgana BazzanDessuy
(Co-orientadora)

Fernanda Carla Böck

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
2 OBJETIVOS	8
2.1 OBJETIVO GERAL	8
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	9
4. DISCUSSÃO GERAL.....	10
5. CONCLUSÃO	12
6. PRODUÇÃO CIENTÍFICA	13
6.1 Artigos publicados gerados a partir dos resultados da tese.....	13
6.2 Demais artigos publicados durante o doutorado.....	13
6.3 Trabalhos apresentados em eventos	14
6. REFERÊNCIAS	15
7. ANEXOS	17
7.1 Anexo I- “Rapid Determination of Ethanol in Sugarcane Spirit Using Partial Least Squares Regression Embedded in Smartphone”, publicado em Food Analytical Methods, 2018.....	17
7.2 Anexo II - “PhotoMetrix [®] and colorimetric image analysis using smartphones”, publicado em Journal of Chemometrics, 2020.	17
7.3 Anexo III- “Low cost method for copper determination in sugarcane spirits using photometrix UVC [®] embedded in smartphone”, publicado em Food Chemistry, 2021.	17

LISTA DE ABREVIATURAS

HCA – Análise por agrupamento hierárquica (HCA, do inglês *Hierarchical Cluster Analysis*)

PLS – Regressão por quadrados mínimos parciais (PLS, do inglês *PartialLeastSquares*)

RGB – Vermelho (R, do inglês *red*), Verde (G, do inglês *green*) e Azul (B, do inglês *blue*)

ROI – Região de interesse (ROI, do inglês *RegionofInterest*)

RMSEP – Erro quadrático médio de predição (RMSEP, do inglês *Root Mean Square ErrorofPrediction*)

UV-Vis – Ultravioleta-Visível

RESUMO

Neste trabalho foram exploradas adaptações de análises químicas tradicionais a novas perspectivas, através da aplicação de análise por imagens digitais associadas com quimiometria, enfatizando a aplicação de *smartphones* buscando a simplificação e redução de custos de métodos analíticos. Para isso foram propostas metodologias para a quantificação de etanol e cobre em amostras de cachaça através de análises de imagens digitais utilizando *smartphones* associados ao aplicativo PhotoMetrix[®]. No desenvolvimento do trabalho foram utilizados métodos de análise multivariada, como planejamento experimental utilizando a matriz de Doehlert, análise hierárquica por agrupamentos e a regressão por mínimos quadrados parciais (PLS, do inglês *PartialLeastSquares*) juntamente com métodos instrumentais de análise. Para o estudo de determinação de etanol em amostras de cachaça, foi utilizado um escâner para capturar as imagens utilizadas no planejamento experimental a fim de definir as condições reacionais. Foi realizada a quantificação de etanol em 6 amostras reais de cachaça utilizando um *smartphone* para a captura das imagens bem como o processamento dos resultados através do aplicativo PhotoMetrix[®] utilizando regressão PLS a partir dos valores de RGB de cada imagem, os resultados encontrados pelo método proposto foram comparados com a metodologia de UV-Vis como referência apresentando baixos erros de predição, mostrando-se como uma ferramenta potencial para esta análise. Para a determinação de cobre foi utilizado um espectrofotômetro UV-Vis na otimização das condições da reação, foram avaliados diferentes procedimentos para aquisição das imagens digitais (câmera externa acoplada ao *smartphone* ou câmera do *smartphone*) com diferentes tamanhos de regiões de interesse e distância na aquisição da imagem. Além disso, foram construídas curvas de calibração com 2 faixas de concentração e foi avaliada a influência do processamento das curvas nos modos univariado e multivariado pelo PLS. Foram avaliadas 3 amostras reais de cachaça e dois *spikes*, os resultados obtidos foram comparados com a metodologia de UV-Vis como referência, demonstrando o potencial do método e a necessidade da otimização dos parâmetros na aquisição das imagens. Em ambos estudos realizados foram verificados o potencial da utilização dos dispositivos móveis que comparados às técnicas tradicionais, apresentam vantagens como a portabilidade e o baixo custo, além de requererem menor quantidade de reagentes, mostrando-se como uma alternativa a técnicas tradicionais de análise.

Palavras-chave: Colorimetria, PLS, Planejamento Doehlert e PhotoMetrix®

ABSTRACT

In this work, adaptations of traditional chemical analyzes to new perspectives were explored, through the application of digital images analyzes associated with chemometrics, emphasizing the application of smartphones seeking to simplify and reduce the costs of analytical methods. For this, methodologies were proposed for the quantification of ethanol and copper in cachaça samples through digital image analysis using smartphones associated with the PhotoMetrix[®] application. In the development of the work, methods of multivariate analysis were used, such as experimental planning using the Doehlert matrix, hierarchical clusters analysis and regression by partial least squares along with instrumental methods of analysis. For the study of ethanol determination in cachaça samples, a scanner was used to capture the images used in the experimental planning to define the reaction conditions. Ethanol quantification was performed in 6 real samples of cachaça using a smartphone to capture the images as well as processing the results through the PhotoMetrix[®] application using PLS regression from the RGB values of each image, the results found by the proposed method were compared with the UV-Vis methodology as a reference, presenting low prediction errors, showing themselves as a potential tool for this analysis. For copper determination, a UV-Vis spectrophotometer was used to optimize the reaction conditions, different procedures for digital image acquisition (external camera coupled to the smartphone or smartphone camera) were evaluated with different sizes of regions of interest and distance in the acquisition of the image. In addition, calibration curves with 2 concentration ranges were constructed and the influence of curve processing in univariate and multivariate modes was evaluated by PLS. Three real samples of cachaça and two spikes were evaluated, the results obtained were compared with the UV-Vis methodology as a reference, demonstrating the potential of the method and the need for optimization of parameters in image acquisition. In both studies, the potential of using mobile devices was verified, which compared to traditional techniques, have advantages such as portability and low cost, in addition to requiring less reagents, showing themselves as an alternative to traditional analysis techniques.

Keywords: Colorimetry, PartialLeastSquares, Doehlert Matrix, PhotoMetrix[®]

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da acessibilidade à informação associado à disponibilidade de equipamentos de comunicação, oferece inúmeras possibilidades na química analítica que eram inimagináveis décadas atrás. A cada dia surgem equipamentos de tecnologia da informação mais modernos e versáteis que, associados a ferramentas de processamento de dados e interpretação de imagens, podem auxiliar na busca por análises químicas de baixo custo, sendo uma alternativa à sociedade, buscando através de equipamentos mais acessíveis gerar diagnósticos mais rápido (GRUDPAN *et al.*, 2015).

Smartphones são cada vez mais comuns no cotidiano da população. Estima-se que cerca de 5,1 bilhões de pessoas fazem o uso desse dispositivo móvel, o que equivale a aproximadamente 67% da população mundial (VALENTE, 2019). Com o constante avanço da tecnologia empregada nos *smartphones*, associada a alta disponibilidade desses dispositivos, eles tornaram-se uma ferramenta muito atrativa para a utilização em funções distintas da tradicional comunicação. Diversos artigos apresentam o avanço do emprego de *smartphones* em análises nas mais diferentes áreas, como alimentos, biosensores e testes clínicos por exemplo (DING *et al.*, 2019; GRUDPAN *et al.*, 2015; HUANG *et al.*, 2018; LI *et al.*, 2016; MCCRACKEN; YOON, 2016; RATENI; DARIO; CAVALLO, 2017; REZAZADEH *et al.*, 2019; RODA *et al.*, 2016; YANG *et al.*, 2016).

Um emprego que vem ganhando muito destaque com o avanço dos *smartphones* é no campo da análise química por imagens digitais, ou seja, a utilização de imagens adquiridas pelo celular como sinal analítico. Essa metodologia pode trazer inúmeros benefícios para as análises, entre eles, baixo custo de implementação, fácil manuseio, portabilidade, oferecendo possibilidade de realizar diagnósticos e monitoramento no local dos parâmetros ambientais, de alimentos e bebidas, por exemplo (GRUDPAN *et al.*, 2015).

Embora haja considerável avanço na utilização de dispositivos móveis para análises químicas, muitos trabalhos utilizam esses dispositivos apenas como ferramenta de captura de imagens, necessitando realizar o processamento desses dados em outro ambiente, perdendo dessa maneira, a possibilidade de gerar resultados instantaneamente. Deve-se considerar que a capacidade de processamento de um celular é imensamente menor que um computador, sendo assim, análises que utilizam um

elevado número de amostras e variáveis se tornam inviáveis nesses dispositivos. Por outro lado, muitas metodologias podem ser adaptadas a esse cenário, permitindo a portabilidade da análise, o baixo custo, e a miniaturização gerando um menor consumo de reagentes e baixa geração de resíduos.

Ao longo de várias décadas, técnicas instrumentais avançadas como cromatografia em fase gasosa e líquida, eletroforese capilar e espectrometria de massa, absorção atômica têm sido as principais ferramentas para detecção em análises químicas em diversos tipos de amostras. Essas técnicas incluem inúmeras vantagens, dentre elas sua alta especificidade e baixos limites de detecção, porém, são instrumentos na sua grande maioria muito caros, suas medições exigem tempo e condições laboratoriais especializadas. Portanto, explorar dispositivos e métodos para detecção de espécies químicas de forma muito mais simples é de grande interesse, seja para realizar análises preliminares, detecções *in loco*, ou mesmo para oferecer uma alternativa para instituições de ensino por exemplo, que muitas vezes não tem acesso aos dispositivos instrumentais mais sofisticados, como os citados anteriormente (REZAZADEH *et al.*, 2019).

Nesse sentido, os *smartphones* podem ser um meio para atingir boa parte desses objetivos, uma vez que são dispositivos portáteis capazes de coletar, armazenar e processar dados. No entanto, preparar uma abordagem portátil para quantificação é o grande gargalo desse sistema (REZAZADEH *et al.*, 2019).

Neste contexto, este estudo tem como objetivo explorar a aplicação da análise química por imagens digitais com enfoque na utilização de *smartphones* como equipamentos analíticos, assim como enfatizar o processamento dos dados pelo próprio dispositivo, mostrando possibilidades de utilização dessas ferramentas em análises de rotina. Também pretende-se explorar, bem como destacar, a utilização do aplicativo PhotoMetrix® para geração dos resultados.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver métodos analíticos para a simplificação e redução de custos de métodos tradicionais de análise de aguardentes de cana de açúcar (cachaça), empregando imagens obtidas por dispositivos móveis (escâner e *smartphone*) combinados com ferramentas quimiométricas, destacando a utilização de celulares associada ao aplicativo PhotoMetrix[®].

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

(I) Revisar a adaptação de análises químicas tradicionais à novas perspectivas, através da aplicação de dispositivos portáteis como *smartphones*.

(II) Desenvolver método analítico para quantificar etanol e inferir sobre a qualidade de amostras de cachaça, utilizando análise multivariada de imagens digitais.

(III) Desenvolver metodologia analítica para determinação de cobre em cachaça, empregando a análise por imagens digitais utilizando dispositivos móveis de baixo custo, enfatizando os benefícios da análise multivariada.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi dividido em 3 partes, sendo o primeiro trabalho uma parte teórica que apresenta os avanços das análises por imagens digitais utilizando *smartphones*, destacando trabalhos que desenvolveram análises associadas ao aplicativo PhotoMetrix[®] (Anexo I) e duas partes experimentais, sendo uma para a quantificação de etanol em cachaça (Anexo II) e outra para determinação de cobre em cachaça (Anexo III). Os detalhes específicos de cada metodologia empregada estão descritos nas seções de materiais e métodos de cada artigo.

Neste trabalho foram utilizados o software ChemoStat[®] e o aplicativo PhotoMetrix[®] nas versões PhotoMetrix PRO[®] e PhotoMetrix UVC[®]. As duas versões do aplicativo permitem análise univariada (regressão univariada) e multivariada, tendo como ferramentas multivariadas a análise por componentes principais, análise por agrupamento hierárquico e regressão por mínimos quadrados parciais. A versão PhotoMetrix PRO[®] tem como forma de captura de imagem a câmera do próprio dispositivo, já a versão PhotoMetrix UVC[®] permite a utilização de uma câmera externa associada ao *smartphone* para aquisição das imagens digitais, os detalhes de cada trabalho estão descritos nas seções de materiais e métodos de cada artigo.

As amostras analisadas em ambos os estudos eram incolores e foram adquiridas no comércio local, sendo 6 amostras utilizadas no primeiro estudo e 3 amostras no segundo, além da análise por imagens digitais também foi realizada a quantificação das amostras por espectrofotometria utilizando UV-Vis.

4. DISCUSSÃO GERAL

A produção científica originada do trabalho encontra-se como capítulos anexos desta tese. Na Tabela 1 está apresentada a produção científica relacionada com o estudo.

O Primeiro trabalho apresentado no Anexo I, PhotoMetrix[®] e análise de imagem colorimétrica utilizando *smartphones*, demonstra os constantes avanços da tecnologia empregada nos *smartphones* e suas aplicações para fins analíticos. Ele apresenta as estratégias que têm sido propostas para identificar ou determinar diferentes analitos em uma ampla gama de matrizes, usando *smartphones*. Alguns deles usam o *smartphone* para capturar as imagens, processá-las e fornecer os resultados analíticos. Outros utilizam este dispositivo apenas para aquisição de imagens. O trabalho relacionou estudos anteriores que utilizaram *smartphones* para aquisição de imagens para fins analíticos, com foco especial no aplicativo PhotoMetrix[®], que é uma ferramenta de análise química que permite decompor imagens digitais adquiridas por câmeras de *smartphones* e processá-las dentro do mesmo dispositivo, permitindo análises químicas *in situ*.

Os resultados do trabalho apresentado no Anexo II, Determinação de etanol em cachaça utilizando regressão por mínimos quadrados parciais integradas no *smartphone*, demonstram a precisão analítica de dispositivos móveis usados para quantificar o teor de etanol –de forma colorimétrica - em amostras de cachaça. As imagens da reação foram obtidas ao longo do tempo usando um dispositivo de *smartphone* e processadas usando o software PhotoMetrix Pro[®] por PLS. A matriz de Doehlert foi utilizada para otimização da concentração de reagentes na reação de complexação e as imagens para essa etapa do trabalho foram adquiridas por um escâner de mesa. As imagens foram avaliadas com o software ChemoStat[®] utilizando-se a HCA. Quando comparado com o método de referência UV-Vis, os resultados obtidos a partir das imagens do dispositivo móvel apresentaram um erro quadrático médio de predição (RMSEP, do inglês *Root Mean Square Error of Prediction*) de 0,0677% (v / v), mostrando o potencial de utilização dessa ferramenta na análise proposta.

No Anexo III, está apresentado uma proposta de um método de baixo custo para determinação de cobre em aguardente de cana-de-açúcar utilizando o aplicativo PhotoMetrix UVC[®] integrado no *smartphone*. Os resultados obtidos pela análise de imagens digitais por *smartphone*, para a quantificação de cobre em amostras demonstraram o potencial da aplicação do método, embora, também mostram a

necessidade de otimizar os parâmetros de aquisição das imagens de acordo com o sistema utilizado. Com os resultados obtidos no trabalho, foi possível inferir que, embora a reação colorimétrica possa ser quantificada de forma univariada, o erro de predição é menor quando se utiliza o método multivariado. Provavelmente, isso ocorre porque o método multivariado usa mais componentes de cores relacionados ao modelo. Outro fator importante é a faixa de concentração da curva: uma faixa de concentração maior apresenta maiores erros, podendo estar associado à saturação do sistema. Após a otimização das condições de análise, a ferramenta torna-se bastante atrativa, pois utiliza aparelhos de baixo custo e pequeno volume de amostra, além de gerar baixo volume de resíduos. Além disso, a simplicidade do sistema, que alia o uso de uma câmera externa associada a um aplicativo PhotoMetrixUVC[®] via *smartphone*, favorece a difusão de seu uso por pequenos produtores de cachaça para realizar o controle de qualidade de seus produtos.

	Trabalho	Publicação
Anexo I	PhotoMetrix [®] e análise de imagem colorimétrica utilizando <i>smartphones</i>	BÖCK, F. C. <i>et al.</i> , 2020
Anexo II	Determinação de etanol em cachaça utilizando regressão por mínimos quadrados parciais integrada no <i>smartphone</i>	BÖCK, F. C. <i>et al.</i> , 2018
Anexo III	Método de baixo custo para determinação de cobre em aguardente de cana-de-açúcar utilizando PhotoMetrix UVC [®] integrado no <i>smartphone</i>	BÖCK, F. C. <i>et al.</i> , 2021

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho realizou um breve relato sobre os avanços no âmbito da análise por imagens digitais principalmente associada a *smartphones*, também foram desenvolvidos dois métodos para análise de amostras de cachaça utilizando imagens digitais e processamento em *smartphone*. Os resultados obtidos mostram a eficiência das técnicas que utilizam imagens digitais e que usam dispositivos móveis para otimizar experimentos/ou quantificar espécies químicas. Os resultados da quantificação de etanol empregando *smartphones* mostraram alta exatidão e precisão, provando ser uma técnica analítica valiosa para quantificar compostos químicos.

Os resultados obtidos para quantificação do cobre na cachaça demonstram a necessidade da otimização dos parâmetros na aquisição das imagens de acordo com o sistema utilizado como por exemplo a faixa de concentração da curva de calibração, uma vez que nesse trabalho foi possível visualizar que uma faixa com concentração maior apresentou maiores erros, podendo estar relacionada com a saturação do sistema de análise. Após as otimizações de acordo com o sistema de aquisição das imagens, a ferramenta torna-se bastante atrativa pois utiliza aparelhos de baixo custo e pequeno volume de amostra, além de gerar baixo volume de resíduos.

Este trabalho demonstra a relevância de desenvolver ferramentas que possibilitem não só a aquisição de dados, mas também o processamento e a geração dos resultados no próprio dispositivo, com o intuito de incentivar a utilização de ferramentas simples e de baixo custo que permitam a compreensão dos conceitos relacionados a química, impulsionando assim a disseminação da ciência nos diferentes níveis de ensino.

6. PRODUÇÃO CIENTÍFICA

6.1 Artigos publicados gerados a partir dos resultados da tese

1. BÖCK, F.C.; HELFER, G.A.; da COSTA, A.B.; DESSUY, M.B.; FERRÃO, M.F. Rapid Determination of Ethanol in Sugarcane Spirit Using Partial Least Squares Regression Embedded in Smartphone. *Food Analytical Methods*, v. 11, p. 1951-1957, 2018.

2. BÖCK, F.C.; HELFER, G.A.; da COSTA, A.B.; DESSUY, M.B.; FERRÃO, M.F. Photometric and Colorimetric Image Analysis Using Smartphones. *Journal of Chemometrics*. 2020;e3251. <https://doi.org/10.1002/cem.3251>

3. BÖCK, F.C.; HELFER, G.A.; da COSTA, A.B.; DESSUY, M.B.; FERRÃO, M.F. Low Cost Method for Copper Determination in Sugarcane Spirits Using PhotoMetric UVC® Embedded in Smartphone. *Food Chemistry*, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130669>. *In Press*

6.2 Demais artigos publicados durante o doutorado

4. SCHNEIDER, R.C.S.; KLAFKE, A.L.; BOCK, F.C.; M, J.A.R. Production and Usage of Vegetable Oil Biobased Lubricant. *REM - International Engineering Journal*, v. 71, p. 579-586, 2018.

5. LUMBAQUE, E.C.; SILVA, B.A.; BOCK, F.C.; HELFER, G.A.; FERRÃO, M.F.; SIRTORI, C. Total Dissolved Iron and Hydrogen Peroxide Determination Using ThePhotoMetricPRO Application: A Portable Colorimetric Analysis Tool For Controlling Important Conditions in The Solar Photo-Fenton Process. *Journal Of Hazardous Materials*, v. 378, p. 1-9, 2019. [10.1016/j.jhazmat.2019.06.017](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.06.017)

6. VINCIGUERRA, L.L.; BÖCK, F.C.; SCHNEIDER, M.P.; REIS, N.A.P.C.; SILVA, L.F.; de SOUZA, K.C.M.; GUERRA, C.C.; de ARAÚJO, A.G.; BERGOLD, A.M.; FERRÃO, M.F. Geographical Origin Authentication of Southern Brazilian Red Wines by Means of Eem-Ph Four-Way Data Modelling Coupled With One Class Classification Approach. *Food Chemistry*, v. 362, p. 1-8, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130087>

6.3 Trabalhos apresentados em eventos

- 1.VINCIGUERRA, L.L.; BOCK, F.C.; BERGOLD, A.M.; FERRAO, M.F. Determinação do pH do Leite Empregando Imagens Digitais. In: III Escola de Inverno de Quimiometria, 2017, Araraquara -SP.
- 2.BOCK, F.C.; DESSUY, M.B.; FERRAO, M.F. Quantificação de Cobre em Amostras de Aguardente de Cana Empregando Análise de Imagens Digitais. In: III Escola de Inverno de Quimiometria, 2017, Araraquara - SP.
- 3.BOCK, F.C.; DESSUY, M.B.; HELFER, G.A.; da COSTA, A.B.; FERRAO, M.F. Quantificação de Cobre em Cachaça Através de Regressão Por Mínimos Quadrados Parciais (PLS) de Imagens em Dispositivos Móveis. In: 5 CongresoUruguayo de Química Analítica, 2018, Montevideo.
- 4.BOCK, F.C.; SPIANDORELLO, R.; GUERRA, C.C.; SILVA, L.F.; de ARAÚJO, A.G.; FERRAO, M.F. Classificação de Vinhos Tintos Segundo Seu Varietal Empregando Espectrofotometria no UV-VIS e GA-LDA. In: 5 CongresoUruguayo de Química Analítica, 2018, Montevideo.
- 5.BÖCK, F.C.; VINCIGUERRA, L.L.; SPIANDORELLO, R.; HELFER, G.A.; da COSTA, A.B.; FERRAO, M.F. PhotoMetrix + Extrato de Feijão Preto = pHmetro por Imagem. In: 5 CongresoUruguayo de Química Analítica, 2018, Montevideo.
6. VINCIGUERRA, L.L.; BOCK, F.C.; SPIANDORELLO, R.; HELFER, G.A.; da COSTA, A.B.; FERRAO, M.F. PhotoMetrix + Extrato de Repolho Roxo = pHmetro Por Imagens. In: 19º Encontro Nacional de Química Analítica, 2018, Caldas Novas - GO.
- 7.BOCK, F.C.; LEANDRO, I.S.; DESSUY, M.B.; HELFER, G.A.; da COSTA, A.B.; FERRAO, M.F. Determinação de Cobre em Cachaça Através de Quimiometria de Imagens em Celulares Empregando Regressão por PLS. In: 19º Encontro Nacional de Química Analítica, 2018, Caldas Novas - GO.
8. LUMBAQUE, E.C.; da SILVA, B.A.; BÖCK, F.B.; HELFER, G.A.; FERRÃO, M.F.; SIRTORI, C.Determinación Total de Hierro Disuelto y Peróxido de Hidrogeno Utilizando La Aplicación Photometrixpro: Una Herramienta Portátil de Análisis Colorimétrico Para Controlar Condiciones Importantes em El Proceso Solar Foto-Fenton. In: 10º Congreso Argentino de Química Analítica , 2019, Santa Rosa-AR.

6. REFERÊNCIAS

BÖCK, F. C. *et al.* Low cost method for copper determination in sugarcane spirits using photometrix UVC embedded in smartphone. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 130669, p. In Press, 2021. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130669>

BÖCK, F. C. *et al.* PhotoMetrix and colorimetric image analysis using smartphones. **Journal of Chemometrics**, [s. l.], v. 34, n. 12, p. 1–19, 2020. Available at: <https://doi.org/10.1002/cem.3251>

BÖCK, F. C. *et al.* Rapid determination of ethanol in sugarcane spirit using partial least squares regression embedded in smartphone. **Food Analytical Methods**, [s. l.], v. 11, p. 1951–1957, 2018.

DING, X. *et al.* Interfacing pathogen detection with smartphones for point-of-care applications. review-article. **Analytical Chemistry**, [s. l.], v. 91, n. 1, p. 655–672, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.8b04973>

GRUDPAN, K. *et al.* Applications of everyday IT and communications devices in modern analytical chemistry: A review. **Talanta**, [s. l.], v. 136, p. 84–94, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2014.12.042>

HUANG, X. *et al.* Smartphone-based analytical biosensors. **Analyst**, [s. l.], v. 143, n. 22, p. 5339–5351, 2018. Available at: <https://doi.org/10.1039/c8an01269e>

LI, F. *et al.* Smartphones for sensing. **Science Bulletin**, [s. l.], v. 61, n. 3, p. 190–201, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11434-015-0954-1>

MCCRACKEN, K. E.; YOON, J. Y. Recent approaches for optical smartphone sensing in resource-limited settings: A brief review. **Analytical Methods**, [s. l.], v. 8, n. 36, p. 6591–6601, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1039/c6ay01575a>

RATENI, G.; DARIO, P.; CAVALLO, F. Smartphone-based food diagnostic technologies: A review. **Sensors (Switzerland)**, [s. l.], v. 17, n. 6, 2017. Available at: <https://doi.org/10.3390/s17061453>

REZAZADEH, M. *et al.* The modern role of smartphones in analytical chemistry. **TrAC - Trends in Analytical Chemistry**, [s. l.], v. 118, p. 548–555, 2019. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.06.019>

RODA, A. *et al.* Smartphone-based biosensors: A critical review and perspectives. **TrAC - Trends in Analytical Chemistry**, [s. l.], v. 79, p. 317–325, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2015.10.019>

VALENTE, J. **EBC - Empresa Brasil de Comunicação**. [S. l.], 2019. Available at: <http://www.ebc.com.br/>.

YANG, K. *et al.* Novel developments in mobile sensing based on the integration of microfluidic devices and smartphones. **Lab on a Chip**, [s. l.], v. 16, n. 6, p. 943–958, 2016. Available at: <https://doi.org/10.1039/c5lc01524c>

7. ANEXOS

7.1 ANEXO I- “Rapid Determination of Ethanol in Sugarcane Spirit Using Partial Least Squares Regression Embedded in Smartphone”, Publicadoem Food Analytical Methods, 2018.

7.2 ANEXO II -“PhotoMetrix[®] and Colorimetric Image Analysis Using Smartphones”, Publicadoem Journal of Chemometrics, 2020.

7.3 ANEXO III- “Low Cost Method For Copper Determination In Sugarcane Spirits Using PhotoMetrixUvc[®] Embedded In Smartphone”, Publicadoem Food Chemistry, 2021.